



TITLE:

デジタル信号処理による車載用通信およびセンサコントロールの適応的な高性能化に関する研究(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

秋田, 浩伸

CITATION:

秋田, 浩伸. デジタル信号処理による車載用通信およびセンサコントロールの適応的な高性能化に関する研究. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21774>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により全文は2021-06-07に公開; 許諾条件により要約は2020-03-15に公開

| | | | |
|--|---|-----|-------|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏 名 | 秋田 浩伸 |
| 論文題目 | デジタル信号処理による車載用通信およびセンサコントロールの適応的な高性能化に関する研究 | | |
| <p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、車載用通信および距離測定センサ用モータ制御の高性能化を目指して、複数の新たなデジタル信号処理法を提案し、その効果を理論的および実験的に調べた研究をまとめたもので、6章からなる。</p> <p>第1章では、環境保全や自動運転など多くの困難な課題に直面している自動車に関連する技術課題を概説した後、車載ネットワーク通信の高速化や自動運転用のレーザーレーダー（LIDAR）の性能向上の重要性を述べている。また、民生用通信技術と車載用通信技術の違いについて説明し、関連部品の物理的配置や信頼性の観点で、高速の民生用通信技術を車載に転用することができないことを述べている。さらに、通信におけるノイズと本研究で主に取り扱うジッタを低減する重要性について解説し、当該分野における本研究の位置付けと目的を明らかにしている。</p> <p>第2章では、センサ通信の高速化を目指す上で大きな障害となる周期ジッタの影響を低減する手法について述べている。まず周期ジッタの起源と影響について説明した後、受信側で求められる周期ジッタ耐性を提示している。申請者は、周期ジッタが比較的緩やかに変動することに着目し、ごく局所的な時間範囲ではデータ通信速度を一定とみなすことができ、これを利用すれば、着目したデータ直前までの通信速度から帰納的处理によって直後のデータを正確に予測できることを提案している。まず、ランダムデータ部分からデータ通信速度を計測し、帰納的信号処理によりビットを決定する手法の周期ジッタ耐性を、信号処理理論を用いて計算し、理論的に優れたジッタ耐性が得られることを見極めている。次に、提案するデジタル信号処理を可能とする集積回路を組み、理論的なジッタ耐性を実験により実証している。特に、10ビットという非常に短いトレーニング時間で20~30%の優れた周波数誤差耐性を達成できることを実験的に示した成果は特筆される。</p> <p>第3章では、車載用通信で重要な役割を果たす絶縁型データ通信の特徴と課題に触れた後、絶縁型データ通信で用いられるフォトカプラの特性に起因するデューティサイクル歪が主に絶縁型データ通信の高速化を阻害していることを述べている。申請者は、デューティサイクル歪が存在する場合でも、“0”→“1”、“1”→“0” など同方向への遷移間の時間は1ビットの整数倍になる（信号の立上がり／立下りエッジ間はデューティサイクル歪の影響を受けない）ことに着目し、この結果を用いて帰納的信号処理を行うことによってデータビットを予測する手法を提案している。前章と同様に信号処理理論を用いて許容されるタイミングマージンのデューティサイクル歪依存性を計算し、提案する手法により著しく優れたデューティサイクル歪耐性が得られることを明らかにしている。さらに、集積回路を組み合わせることで実機評価を行い、理論計算結果とほぼ一致する優れたデューティサイクル歪耐性（50%以上）を得ている。</p> | | | |

| | | | |
|---|--------|-----|-------|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏 名 | 秋田 浩伸 |
| <p>第4章では、車載通信ネットワークの高速化において生じるジッタの問題と、その低減策について述べている。特に、通信ネットワークの伝送路の周波数帯域制限とスタブにおける電気信号の反射により生じるシンボル間干渉の問題の重要性を説明し、車載通信に用いられるバス接続方式を用いながら高速通信を達成することが容易ではないことを述べている。この問題を低減するために、従来は受信側の制御ユニットに、信号波形を整形するイコライザが設けられていたが、申請者は、送信側のドメイン制御ユニットにイコライザを搭載し、これに信号エッジを強調するプリエンファシス技術を組み合わせることによって、シンボル間干渉の影響を最小化できることを提案している。これは、バス接続であっても通信用伝送路は受動型の回路網であり、その相反性からデータの伝送特性は双方向で同一であることに着目したもので、独自性が高い。そこで、逆方向に伝送する信号を計測して伝送路の特性を獲得し、次にこの伝送路特性を考慮しながらデータにプリエンファシスを施すことを提案し、この技術の有効性を理論計算と実験により実証している。実験では、従来技術に比べて約5倍となる50Mbpsの通信速度で、高品質通信が可能な周波数帯域を約4倍に拡大できており、特筆すべき成果と言える。本手法は伝送路を増加させることなく、容易に送信側で伝送路の周波数特性を補償できるものであり、実用的にも重要な成果である。</p> <p>第5章では、自動車の事故防止や自動運転に必須となるレーザーレーダーの高性能化を目指して、前章で取り組んだプリエンファシス技術の展開を行った内容について述べている。具体的には、レーザーレーダーを回転させるモータの回転速度を、方位に応じて切り替えることによって自動車進行方向（前方）の計測距離を向上させることに取り組んでいる。まず、プリエンファシスをモータ制御に適用するシステムを、自動制御理論を基にして解析し、安定性や最適な制御パラメータを導出している。次に、プリエンファシスのプログラムを搭載したマイコンを用いてサーボモータを駆動する実験を行い、理論予測通り、モータの回転速度を方位に応じて意図的に増減できることを示している。モータが一回転する間に回転速度を切り替えることができるのは画期的であり、様々なモータ応用への展開が期待される。本提案方式により、レーザーレーダーの前方測定距離を1.4倍に向上することに成功しており、実用的にも重要な成果である。なお、本方式を採用してもモータの消費電力の増加は非常に小さく、実用上問題にならないことを確認している。</p> <p>第6章は結論であり、本研究で提案した低精度クロックでも周期ジッタの影響を低減するデータ通信速度の予測手法、データ信号波形の特徴に着目してデューティサイクル歪の影響を低減する手法、バス接続伝送路の複雑な周波数特性を送信側において補償するプリエンファシス技術、およびこのプリエンファシスをモータ駆動に適用してモータ回転速度を自在に切り替える手法について整理して述べている。また、当該分野における今後の研究課題を提示し、これらの課題解決に向けた研究指針を提案している。</p> | | | |

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、車載用通信の高速化および距離測定センサ用モータ制御の高性能化を目指して、複数の新たなデジタル信号処理法を提案し、その効果を理論計算および実験により明らかにした研究をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 従来の車載用センサ通信では時間方向のノイズであるジッタの影響により高速通信が困難であったが、ランダムデータ部分からデータ通信速度を計測して適用する非同期のオーバーサンプリング方式を提案し、これにより周期ジッタ耐性を著しく向上でき、高速通信が可能となることを理論解析および実験により示した。
2. フォトカプラを用いた絶縁型データ通信において問題となるデューティサイクル歪の影響を低減するために、信号の立ち上がり／立ち下りエッジ間隔が1ビットの整数倍であることを活用するオーバーサンプリング方式を提案し、理論解析と実験により、その有効性を実証すると共に、従来方式に比べて大幅に短いトレーニング時間で優れたデューティサイクル歪耐性を達成した。
3. 周波数の帯域制限やフレキシビリティ制約の厳しい車載用バス通信において、送信側の制御ユニットにイコライザを搭載するプリエンファシス方式を提案し、通信速度を著しく向上することに成功した。車載用バス通信における伝送路の相反性に着目し、伝送路を増やすことなく送信側で通信の非線形な周波数特性を補償可能であることを理論的に示し、かつ実際のシステムで有効性を実証した。
4. 通信ネットワークにおけるプリエンファシス方式をモータ制御に適用することを初めて提案した。自動運転に用いられる距離測定センサ（レーザーレーダー）では、モータ回転速度に大きな方位依存性を付与することが重要であり、これを達成するために入力指令値を意図的に遅延させた改良プリエンファシス方式を提案し、実機でその効果を実証した。具体的には、モータの回転速度を方位に応じて切り替え、前方測定距離を従来に比べて1.4倍に向上した。

以上、要するに、本論文は非同期オーバーサンプリングによる時間情報を用い、帰納的計算によりジッタの影響を低減する信号処理手法、およびオーバーサンプリングした振幅情報を用い、プリエンファシスによって所望の振幅出力を得る信号処理手法の提案を行い、その効果を理論計算と実験により実証したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年2月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。